

Az AL-P értékek korrigálása néhány talajtulajdonság figyelembevételével

THAMM FRIGYESNÉ

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest

Az agrokémiai gyakorlatban a talajok tápanyagszolgáltató képességét — jelen esetben P-szolgáltató képességét — különböző biológiai, mikrobiológiai, fiziko-kémiai, kémiai módszerekkel lehet megbecsülni. A különféle alapelvein nyugvó módszerek közül az utóbbi évtizedekben — kivitelezhetőségük előnyös volta miatt — az ún. kémiai (extrakciós) eljárások terjedtek el igen széles körben. Közismert azonban, hogy az egyes kivonószerek — bármennyire körültekintően legyenek is megválogatva — nem azt a P-mennyiséget oldják ki a talajból, amit vagy amivel arányos részt az egyes növények egy tenyészidőszak alatt igényelnek, hanem csak azt, aminek kioldására a fennálló körülmények (talaj mészállapota, pH-ja, stb.) mellett az oldószer képes. A különböző oldószerekkel kivonható felvehető vagy könnyen oldható P-mennyiségek tehát nem egy esetben nagyságrendileg is eltérnek egymástól. Ezért merülhet fel az a kérdés, hogy melyik kivonószert tartjuk megfelelőbbnek a növények számára felvehető P-tartalom mennyiségének becslésére. Erre a kérdésre több agrokémikus munkája alapján azt válaszolhatjuk, hogy azt, amelyik a növények által a talajból felvett P-ral a vizsgált módszerek közül a legszorosabb összefüggést adja [11, 13, 14, 17, 26, 29, 41, 44].

A kémiai eljárásokat tehát realisabb értékelésük érdekében biológiai módszerekkel össze kell hasonlítani, más szóval hitelesíteni, „kalibrálni” kell.

Ez a kalibrálási munka gyakorlati szempontból két részre osztható: Első lépésként a számba jöhető módszerek közül ki kell választani azt, amelyik a növény által felvett P mennyiségével (vagy más növényi paraméterrel) a lehető legszorosabb kapcsolatot mutatja. Ehhez a vizsgálathoz a növényeket — amint ezt számos irodalmi adatot összegezve HAUSER [14] megállapítja — üvegházi körülmények, szabályozható külső feltételek között tenyészedényekben célszerű nevelni. Így csökkenteni lehet a várható eredmények szórását és növelni a kémiai eljárásokkal fennálló összefüggések szorosságát.

Második lépésként az előző eredmények alapján kiválasztott módszert szabadföldi kísérletek eredményeivel kell egybevetni. Ily módon az illető módszerrel meghatározott „felvehető” P-érték a trágyázási szaktanácsadás céljaira konkrét tartalmat kap.

A kalibráló eljárás első lépéséhez kapcsolódó munkám során három kémiai talajvizsgálati módszert — az AL-, a CAL- és az OLS-módszert — vetettem egybe a növények által egy Neubauer-típusú kísérlet során felvett P mennyiségével.

Az AL-módszert — melyet jelenleg hazánkban kötelező érvénnyel használnak — 1958–60-ban RIEHM [30], majd EGNÉR, RIEHM és DOMINGO [7] dolgozták ki. A DL-kivonószer helyett javasolták bevezetését, mivel ezzel a módszerrel az 5%-nál több meszet tartalmazó talajok „felvehető” P-tartalmát is kielégítően meg lehet határozni. Újabb problémák akkor merültek fel az AL-módszerrel kapcsolatban, mikor nyersfoszfátokkal és részben feltárt foszfátokkal végzett trágyázási kísérletek ill. sok natív apatitot tartalmazó talajokon végzett kísérletek adatait értékelték. Ilyen talajokon ui. az AL-módszerrel magasabb értékeket mértek, mint az azonos mennyiségű feltárt foszfáttal trágyázott parcellákon, s ugyanakkor a kísérleti növények termése ill. az általuk felvett P mennyisége nem indokolta ezeket a magas AL—P értékeket [2, 3, 5, 21, 22, 36, 42, 46, 47].

Ausztriában a nyersfoszfátokkal trágyázott talajok vizsgálatával kapcsolatban dolgozta ki SCHÜLLER [36] 1969-ben az AL-módszer — és részben a DL-módszer módosításával és egyben helyettesítésükre az ún. CAL-eljárást. Ennek oldószere a talaj CaCO_3 -tartalmával, ill. pontosabban Ca-tartalmával szemben igen jól pufferolt, mivel az előző két laktátos kivonószernél jóval több Ca-t tartalmaz. További laboratóriumi vizsgálatok [5, 23, 33], azonban arra világítottak rá, hogy bármilyen jól pufferolt is a CAL-oldat, a talajok CaCO_3 -tartalmának és a CaCO_3 eredetének függvényében ebben a kivonószerben is beállhat a kivonás végére a CaHPO_4 kicsapódásának kedvező 5,4 körüli pH-érték, s a már egyszer feloldódott P ismét kicsapódhat. Szabadföldi kísérletek során mind semleges, mind pedig meszes talajoknál úgy találták, hogy a CAL-P arányosan változik a növények által felvett P mennyiségével [2, 5, 15, 34, 36, 47]. Savanyú talajok esetében viszont már megoszlottak a vélemények. Egyes szerzők szerint a CAL-P ilyen körülmények között alkalmas arra, hogy a DL-P értékeket helyettesítse [21, 27, 36, 46]. Mások szerint viszont — különösen 5-nél kisebb pH-jú talajoknál — a CAL-P-vel alábecsülhetjük a talaj „felvehető” P-tartalmát [2, 47]. A CAL-oldószert nagy Ca-pufferoló képessége, valamint a fent említett külföldi szerzők nem teljesen egyező véleménye indokolta ennek a kivonószernak hazai talajmintákkal kapcsolatos tüzetesebb vizsgálatát.

Az ún. OLS-módszert OLSEN és munkatársai dolgozták ki 1954-ben [25] főként meszes talajok vizsgálatára. Az eljárásban alkalmazott NaHCO_3 -os kivonószer a talaj Ca-tartalmának oldódását ui. olymértékben visszaszorítja, hogy az oldatba nem kerül annyi Ca, mely a kivont P-ionok másodlagos kicsapódását okozhatná. Bár OLSEN és munkatársai a módszernek semleges és savanyú kémhatású talajok esetében történő alkalmazhatóságát már a módszer leírásakor sem zárták ki, számos kutató [pl. 4, 6, 9, 12] szükségesnek tartotta a kérdés részletesebb vizsgálatát. Eredményeik szerint az OLS-módszer semleges és savanyú kémhatású talajokon is bevált a növények számára felvehető állapotban levő P jellemzésére. Egyes szerzők szerint azonban (pl. nyersfoszfáttal végzett trágyázás után, vagy extrém talajtulajdonságok esetében) az OLS-P nem követi a növény által felvett P-t minden esetben arányosan [5, 19, 20, 22, 33, 48]. Az OLS-módszer igen elterjedt használata és az az igen széles körű vélemény, hogy — a szélsőséges tulajdonságú talajoktól eltekintve — meszes, semleges és savanyú talajokon egyaránt jól jelzi a növények rendelkezésére álló P mennyiségét, indokolta, hogy megvizsgáljuk e módszer alkalmaságát a hazai talajok felvehető P-készletének jelzésére.

Vizsgálati anyag és módszerek

A vizsgálathoz 115 talajmintát használtam fel, melynek egy része (44 minta) a több mezőgazdasági kutatóintézetben (Mosonmagyaróvár, Keszthely, Kesztemét, Kompolt, Putnok, Karcag, Nagyhöresök, Hosszúhát, Nagykanizsa) egységes terv szerint folyó Országos Trágyázási Kísérletekből, másik része (62 minta) a MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet saját szabadföldi kísérleteiből (Martonvásár, Nagyhöresök, Mezőnagymihály, Öreglak, Nagy-kálló, Pesthidegkút) származtak. Ezenkívül néhány üzemi tábláról származó

1. táblázat

A vizsgálatoknál felhasznált talajminták származási helye

(1) A talajok fő típusai	(2) Származási		(3) Minták száma, db
	táj	hely	
1. Homokos vízutalajok	Duna—Tisza közti		
	hátság	Kesztemét	6
	Gödöllői dombság	Órszentmiklós	2
	Belső-Somogy	Homokszentgyörgy	1
	Belső-Somogy	Lábod	1
	Összesen:		10
2. Barna erdőtalajok	Zalai dombság	Keszthely	5
	Zalai dombság	Nagykanizsa	3
	Észak-alföldi hordalék		
	lejtő	Kompolt	6
	Cserehát	Putnok	5
	Nyírség	Nyírlúgos	1
	Nyírség	Nagykálló	3
	Belső-Somogy	Öreglak	6
	Budai hegység	Pesthidegkút	3
	Összesen:		32
3. Csernozjom	Mezőföld	Nagyhöresök	15
	Mezőföld	Martonvásár	36
	Mezőföld	Érd	1
	Összesen:		52
4. Réti talajok	Jászság	Karcag	4
	Körösvidék	Hosszúhát	3
	Észak-alföldi hordalék		
	lejtő	Mezőnagymihály	3
	Összesen:		10
5. Szikes talaj	Dunavölgy	Apaj	2
	Összesen:		2
6. Öntéstalajok	Győri medence	Mosonmagyaróvár	8
	Dunavölgy	Dömsöd	1
	Összesen:		9

A vizsgált talajok száma összesen: 115 db.

talajmintát (9 minta) a TAKI Szik- illetve Homokkutatói osztálya bocsátott rendelkezésemre. A vizsgált talajokat talajtípus és származási hely szerint az 1. táblázatban foglaltam össze. Látható, hogy a mintavételi helyek lehetőségeinkhez mérten az ország meglehetősen nagy területét hálózta be és a vett

2. táblázat

A vizsgálatnál felhasznált talajok főbb jellemzői

	pH		CaCO ₃ %	(1) Y ₁	(2) Le- iszapolható rész, % < 0,02 mm frakció	(2) Hfumsusz- tartalom %	P ₂ O ₅			K ₂ O	
	H ₂ O	KCl					Al-	CAl-	OLs-	Al-	CAl-
							módszerrel, mg/100 g talaj				
x _{min}	5,3	4,1	0,2	0,9	10,3	0,37	1,3	0,8	0,7	4,3	2,8
x _{max}	9,0	8,6	35,9	22,0	81,5	5,36	28,8	24,4	12,0	39,9	25,4
\bar{x}	7,0	6,3	9,5*	8,0**	55,8	2,46	7,7	6,0	3,1	17,9	10,9
CV%	10,8	14,8	79,5	53,7	35,2	37,1	61,9	66,7	55,2	36,4	38,2

* karbonátos minták átlaga (n = 60)

** nem karbonátos minták átlaga (n = 67).

(Megjegyzés: a 2%-nál kevesebb CaCO₃-t tartalmazó és a 4,0 alatti y₁-értékű talajok (n = 12) valamennyi számításnál mindkét csoportban szerepelnek.)

minták a fontosabb talajtípusokat magukba foglalták. A vizsgált talajok főbb jellemzőit a 2. táblázatban összesítettem.

A talajkivonatokból a K-t lángfotométerrel, a P-t az AL-kivonatokból az általunk módosított aszkorbinsavas-önkloridos-molibdátos módszerrel [32], a CAL-kivonatokból a SCHÜLLER [36] által leírt módon, a NaHCO₃-os (OLS-kivonatokból — kisebb módosítások bevezetése után — WATANABE és OLSEN [43] leírása szerint, a többi talajjellemzőt a Talaj- és trágyavizsgáló módszerek [38] c. kézikönyv leírásai alapján határoztuk meg.

Növényi tesztként a NEUBAUER és SCHNEIDER [24] által leírt módszert alkalmaztam kisebb módosításokkal. A Neubauer-módszert azért választottam biotesztként, mert a növényi tesztvizsgálatok közül viszonylag gyorsan végezhető el, s így segítségével aránylag rövid idő alatt sok talaj vizsgálható meg. Emellett a módszer mellett szólt az is, hogy a Neubauer-módszerrel kapcsolatban az irodalomban igen sok adat található a talajok tápanyag (P és K) szolgáltató-képességére vonatkozóan. Továbbá, hogy ezt az eljárást már többször felhasználták új módszerek kidolgozásakor és módszer-összehasonlító vizsgálatokban.

A fenti talajokkal a NEUBAUER-kísérletet 14 sorozatban végeztem el. A vizsgált talajok 2—2, a minden sorozatban szereplő „standard” talaj és a kísérlethez felhasznált homok 4—4 párhuzamosban szerepelt mindegyik sorozaton belül. A növényeket H₂SO₄—H₂O₅-vel ronsoltam el [39], s a savas oldatokból a K-t lángfotométerrel, a P-t vanádát-molibdátal fotometriás úton [40], a N-t pedig NaOBr-os titrálással [10] határoztam meg.

Összefüggésvizsgálatok

A NEUB-P és a kémiai módszerekkel kivonható P-tartalmak közötti összefüggések számszerű vizsgálatára első közelítésként kétváltozós lineáris regressziószámítást végeztem a rendelkezésemre álló adatokkal. Az eredmények összesítésénél azt tapasztaltam, hogy a Neubauer-kísérletsorozatokban kapott P és K értékek a kémiai vizsgálatokból nyert adatoknál jobban szórtak. Mivel minden sorozatban szerepelt az ún. standard-talaj és a kísérletekhez felhasznált mindenkor homok, ezeknek az adatoknak segítségével varianciaanalízis keretében meg lehetett határozni azt a szórást, amit még az egyes párhuzamos meg-

3. táblázat

A NEUB-P (Y) és az AL-P (X_1), illetve az OLS-P (X_3) közötti regressziós egyenletek paraméterei a talajok főtípusa szerinti osztályozás után

(1) A talajok főtípusa	X_1			X_3		
	a	b	r	a	b	r
1. Homokos váztalajok	30,1	0,26	0,40*	28,5	1,15	0,82***
2. Barna erdőtalajok	29,1	0,77	0,78***	28,1	1,44	0,80***
3. Csernozjomok	30,7	0,34	0,58***	30,2	0,99	0,71***
4. Réti talajok	28,7	0,86	0,84***	28,7	1,47	0,84***
5. Öntés talajok	29,2	0,18	0,53*	29,0	0,95	0,65**

*** 0,1%-os; ** 1%-os; * 5%-os; * 10%-os valószínűségi szinten szignifikáns.

határozások közötti eltérésként el lehetett fogadni. Ez az érték a NEUB-P-ra nézve 2,7 volt. Az összefüggésvizsgálatokba tehát csak azok a NEUB-P értékpárok kerültek be, melyek között a különbség a 2,7-et nem haladta meg.

A regressziószámítás eredményeként az alábbi három egyenletet kaptam:

$$\begin{aligned} Y &= 30,9 + 0,31 X_1 & r &= 0,53*** & r^2 &= 0,28 \\ Y &= 31,0 + 0,38 X_2 & r &= 0,54*** & r^2 &= 0,29 \\ Y &= 29,6 + 1,11 X_3 & r &= 0,72*** & r^2 &= 0,52 \end{aligned}$$

ahol Y = a rozscsíránövények által felvett P_2O_5 mg/100 g talaj (NEUB-P)

X_1 = AL-oldható P_2O_5 mg/100 g talaj (AL-P)

X_2 = CAL-oldható P_2O_5 mg/100 g talaj (CAL-P)

X_3 = $NaHCO_3$ -oldható P_2O_5 mg/100 g talaj (OLS-P).

A fenti regressziós egyenletekből látható, hogy — annak ellenére, hogy mindhárom egyenlet korrelációs koefficiense (r) 0,1%-os valószínűségi szinten szignifikáns — a NEUB-P és az OLS-P közti lineáris kapcsolat jóval szorosabb, mint a NEUB-P és az AL-P, ill. a CAL-P közötti. Ezek szerint tehát az OLS-módszerrel jobban lehet jellemezni a talajok P-szolgáltatóképességét, mint a két laktátos módszerrel, de még az OLS-P-ben bekövetkező változásokkal is csak mintegy 50%-ban ($r^2 = 0,51$) lehet a rozscsíránövényekkel kivont P-ben megnyilvánuló változásokat megmagyarázni.

Ez a számítás ugyanakkor alátámasztja azt az irodalomból és gyakorlatból ismert tényt, hogy a szaktanácsadásban hazánkban jelenleg általánosan használt AL-módszerrel meghatározható foszfor mennyisége a talajok *összeségét* tekintve nem mutat eléggé szoros kapcsolatot a növények számára felvehető P-ral. Ez nem jelenti azt, hogy az AL-módszerrel kapott eredmények a talajok tápanyagállapotának megítélésére nem alkalmasak, hanem azt, hogy az AL-P ismerete mellett a vizsgált talajok más tulajdonságait is ismernünk kell az AL-P adatok helyesebb értékeléséhez.

A kérdés tehát az, hogy az egyes talajtulajdonságok milyen mértékben befolyásolják a kémiai módszerekkel kimutatott „felvehető” P-értékeket és hogyan lehet ezeket a talajtulajdonságokat a „felvehető” P-értékek megítélésénél figyelembe venni.

Elsőként talajtípusok illetve főtípusok szerinti csoportosításban vizsgáltam meg az összefüggések alakulását (3. tábl.). A táblázatból látható, hogy

1. táblázat

A NEUB-P (Y) és az AL-P (X_1), illetve az OLS-P (X_3) közötti regressziós egyenletek paraméterei a mészállapot (A) és a talaj pH-ja (B) szerinti csoportosítás után

(1) Sorszám és vizsgálatok	n	X ₁			X ₃			
		a	b	r	a	b	r	
A) A mészállapot szerinti csoportosítás után								
	CaCO ₃ %							
1.	≥10,0	21	29,0	0,26	0,58**	28,1	1,57	0,72***
2.	2,1—9,9	35	29,7	0,32	0,75***	30,4	0,77	0,80***
3.	0,0—2,0	20	28,7	0,74	0,84***	28,8	1,74	0,86***
	Y ₁							
4.	4,0—6,9	20	28,7	0,72	0,78***	28,6	1,30	0,79***
5.	7,0—8,0	25	29,7	0,77	0,80***	29,7	1,18	0,73***
6.	8,1—10,0	20	29,5	0,79	0,78***	29,6	1,08	0,76***
7.	≥10,1	22	29,5	0,74	0,79***	28,2	1,43	0,80***
a) F-próba a „b”-értékekre				5,9***			2,6*	
B) A pH szerinti csoportosítás után								
	pH(KCl)							
1.	≤4,5	20	29,0	0,81	0,91***	27,8	1,45	0,90***
2.	4,6—5,3	28	28,7	0,86	0,83***	28,1	1,46	0,83***
3.	5,4—5,9	28	29,5	0,71	0,82***	29,5	1,19	0,81***
4.	6,0—6,9	25	30,5	0,43	0,71***	30,2	1,03	0,75***
5.	7,0—7,2	25	29,5	0,41	0,69***	29,4	1,32	0,79***
6.	≥7,3	37	29,4	0,27	0,61***	29,7	0,84	0,68***
a) F-próba a „b”-értékekre				6,3***			1,7	

* = $y_1 = 0,0—3,9$;

*** 0,1%-os; * 5%-os valószínűségi szinten szignifikáns.

ennél a csoportosításnál is a NEUB-P és az OLS-P között szorosabb és szignifikánsabb az összefüggés a vizsgált 5 fő talajtípus mindegyikében, mint a NEUB-P és az AL-P között. Az utóbbi összefüggés szorossága és szignifikanciája talajtípusról talajtípusra erősen változik. Tehát a főtípus szerinti osztályozás a NEUB-P és az AL-P közötti összefüggés szorosságát nem növelte olyan mértékben, hogy a talajok főtípusát a biológiai és kémiai úton kivont foszfor közötti kapcsolat szempontjából döntő tényezőnek lehetne tekinteni.

Ismert tény, hogy az AL-P értékek a talaj CaCO_3 -tartalmától függően a talaj P-ellátottságára nézve mást és mást jelentenek [8, 30, 31, 37]. Ezért kézenfekvő volt az adatokat két nagy csoportra, úgy mint meszet tartalmazó és nem tartalmazó (savanyú kémhatású) talajokra szétosztani. Az így elvégzett kétváltozós regressziószámítások a következő eredményeket adták:

$$\begin{array}{lll}
 \text{meszes talajokra:} & Y = 29,1 + 0,33 X_1 & r_m = 0,60*** \quad r^2 = 0,36 \\
 & Y = 29,9 + 0,35 X_2 & r_m = 0,61*** \quad r^2 = 0,37 \\
 & Y = 29,6 + 1,05 X_3 & r_m = 0,71*** \quad r^2 = 0,50 \\
 \text{savanyú talajokra:} & Y = 29,5 + 0,70 X_1 & r_s = 0,75*** \quad r^2 = 0,56 \\
 & Y = 29,8 + 0,82 X_2 & r_s = 0,74*** \quad r^2 = 0,55 \\
 & Y = 29,5 + 1,18 X_3 & r_s = 0,73*** \quad r^2 = 0,53
 \end{array}$$

(A jelölések azonosak az előző egyenletek jelöléseivel.)

5. táblázat

A NEUB-P (Y) és az AL-P (X_1), illetve az OLS-P (X_2) közötti regressziós egyenletek paraméterei a humusztartalom (A) és a leiszapolható rész tartalom (B) szerinti csoportosítás után

(1) Sorszám és vizsgálatok		n	X ₁			X ₂		
			a	b	r	a	b	r
A) A talajok humusztartalma szerinti csoportosítás után								
	H%							
1.	≤1,50	30	31,3	0,24	0,37*	28,9	1,18	0,83***
2.	1,51—2,30	33	30,1	0,22	0,46**	28,0	1,53	0,84***
3.	2,31—2,60	30	30,4	0,34	0,66***	29,7	1,06	0,79***
4.	2,61—3,00	28	30,9	0,51	0,69***	30,8	0,99	0,77***
5.	≥3,01	42	31,2	0,27	0,54***	30,1	0,92	0,68***
a) F-próba a „b”-értékekre				1,3			1,3	
B) A talajok leiszapolható rész tartalma szerinti csoportosítás után								
	L%							
1.	≤25	13	29,5	0,24	0,59*	28,8	0,92	0,72**
2.	26—35	15	29,4	0,78	0,83***	29,5	1,15	0,85***
3.	36—55	21	31,8	0,08	0,16	28,6	1,51	0,74***
4.	56—60	33	30,8	0,27	0,54**	29,9	0,91	0,66***
5.	61—65	26	30,6	0,45	0,63***	29,4	1,56	0,77***
6.	66—70	24	29,9	0,44	0,73***	29,3	1,16	0,86***
7.	≥71	31	29,2	0,67	0,78***	29,0	1,27	0,85***
b) F-próba a „b”-értékekre				3,6**			1,0	

*** = 0,1%-os; ** = 1%-os; * = 5%-os szinten szignifikáns.

Az újabb korrelációs koefficiensekből látható, hogy az így csoportosított NEUB-P és AL-P, illetve CAL-P értékek között már jóval szorosabb kapcsolat áll fenn, mint az összes adattal számított összefüggésnél, ugyanakkor az OLS-P-val (X_2) az összefüggés nem lett szorosabb. A regressziós egyenletek „b”-értékei arra utalnak, hogy a növények által felvett P és az AL-P ill. CAL-P között meszes talajon más jellegű az összefüggés, mint savanyú talajon.

Mivel a talajok két csoportra történt bontásával a NEUB-P és az AL-P közötti összefüggés szorossága nagyobb lett, ezért célszerű volt az összefüggést befolyásoló további tényezők vizsgálata érdekében a talajokat mészállapotuk ill. kémhatásuk, valamint humusz- és leiszapolható rész tartalmuk szerint kisebb csoportokra osztani (számítástechnikai okokból úgy, hogy 1—1 csoportba kb. 20—30 minta jusson). A nagyobb mintaszám érdekében a két sorozatban szereplő NEUB-P értékeket (a 2,7-nél nagyobb különbségek elhagyásával) is bevontam a számításba. E kisebb csoportokban elvégzett kovariancia analízisek eredményeit a 4. és 5. táblázatban mutatom be. (A kovariancia analízisek az OÁF elektronikus számítógépén WELLISH PÉTER irányításával készültek).

A 4. táblázatban a talaj mészállapota szerint képzett csoportok regressziós egyeneseinek főbb jellemzőit foglaltam össze. Az így nyert 7 csoport mindegyikében nagyobb a korrelációs koefficiens, mint az összes talajra számított $r = 0,53$ -as érték. Még a 10%-nál több meszet tartalmazó talajoknál is valamivel nagyobb a korrelációs koefficiens számértéke, bár a kisebb elemszám miatt ez az r -érték csak 1%-os valószínűségi szinten szignifikáns.

A regressziós egyenesek lefutását meghatározó „b”-értékekből viszont látható, hogy az AL-módszer esetében a 2,0%-nál több meszet tartalmazó talajokból nyert adatok élesen elkülönülnek a 2,0%-nál kevesebb, illetve meszet egyáltalán nem tartalmazó talajok adataitól, míg az OLS-módszernél ez a mészállapot szerinti éles szétválás nem figyelhető meg (lásd később az 1. ábrát). Ezt támasztja alá a „b”-értékekre végzett F-próba is, mely a NEUB-P—AL-P összefüggés esetében a „b”-értékek igen erősen szignifikáns eltérését igazolja, míg a NEUB-P—OLS-P kapcsolatnál csak gyengén szignifikáns eltérésre utal.

Mivel az előbbiekből kitűnt, hogy az AL-módszernél milyen fontos szerepet játszik a talaj mészállapota, önként adódott, hogy a talaj mészállapotának, illetve savanyúságának egy másik mutatója — a pH — tükrében is meg kell vizsgálni a NEUB-P és az AL-P közti összefüggés alakulását. A talaj mészállapota (CaCO_3 -tartalma és y_1 -értéke) és a talaj pH-ja nem teljesen azonos tartalmú mutató: erre utalnak a pH(KCl) és a CaCO_3 -tartalom közötti 0,45***-os, valamint a pH(KCl) és az y_1 -értékek közötti — 0,64***-es r-értékek, melyek bár 0,1%-os valószínűségi szinten szignifikánsak, de nem túl szoros összefüggést jeleznek a kétféle mutató között. Szorosabb a lineáris kapcsolat a pH és az y_1 -értékek, mint a pH és a $\text{CaCO}_3\%$ között. A pH csökkenésével ugyanis az y_1 -értékek folyamatosan nőnek, míg a mésztartalom növekedésével a pH egy adott „küszöbérték” fölé nem emelkedik. A fenti összefüggés nem túl szoros voltából arra lehet következtetni, hogy a NEUB-P és az AL-P közötti összefüggés szorossága módosulhat, ha az adatokat a talajok pH-ja szerint csoportosítjuk (4. tábl. alsó része).

Ha a korrelációs koefficienseket nézzük, látható, hogy ismét mindegyik korrelációs koefficiens értéke meghaladja az összes talajra számított $r = 0,53$ -as értéket. A legszorosabb lineáris összefüggés a 4,5 és ennél kisebb pH-jú talajoknál mutatkozik. A pH emelkedésével az r-értékek csökkennek ugyan, de mindegyik csoportban 0,1%-os szinten szignifikáns és a 0,53-as értéknél jóval szorosabb kapcsolatra utalnak. Az összefüggéseket leíró egyenesek lefutására vonatkozóan a táblázat „b”-értékeiből láthatjuk, hogy a talajok AL-P-értékei a pH(KCl) értékek szerint 3 csoportba különíthetők el: a 7,3-nál nagyobb pH-jú talajokhoz tartozó értékek a leglaposabban lefutó egyenes mentén, a 6,0–7,2 pH-jú talajokhoz tartozó értékek valamivel meredekebb (kb. azonos „b”-értékű) egyenesek mentén, míg az 5,9-nél kisebb pH-jú talajokhoz tartozó értékek meredeken lefutó egyenesek mentén helyezkednek el, s a hat egyenes „b”-értéke között 0,1%-os szinten szignifikáns eltérés mutatható ki.

Mivel a talaj agyag- ill. leiszapolható rész tartalma (L%) a P-vegyületek megkötődését ill. oldhatóságát befolyásolja, feltehető, hogy a növényi testben felvehető és a kémiai módszerekkel felvehetőként kimutatható P-értékek kapcsolata is függ a talaj fizikai tulajdonságaitól. Az irodalomban található adatok szerint a talaj „felvehető” P-tartalom értékei — köztük az AL-P-értékek is — az agyag- ill. leiszapolható rész tartalom növekedésével egyes esetekben növekedtek, más esetekben viszont csökkentek, változásuk iránya tehát nem egyértelmű [12, 16, 18, 28, 33, 45, 49].

Az általam vizsgált talajok esetében (5. táblázat alsó része) az 55%-nál kevesebb leiszapolható részt tartalmazó talajoknál nem lehet a NEUB-P és az AL-P között következetes összefüggésről beszélni. Az 55%-nál több leiszapolható részt tartalmazó vályog, agyagos vályog és agyagtalajoknál viszont az L% mennyiségének növekedésével együtt egyrészt nőtt az egyes csoportok-

hoz tartozó, a NEUB-P és az AL-P közötti összefüggést leíró egyenesek iránytangense („b”-értéke), másrészt nőtt az összefüggés szorossága (r-értéke).

A talajok szervesanyag-tartalmának hatását a következőkben lehet összefoglalni. A talaj szerves anyagából mineralizáció útján felvehetővé váló P mennyisége csak alárendelt szerepet játszhat a növények P-ellátásában, ill. a „felvehető” P-tartalom alakulásában. A tapasztalatok szerint ui. a talajok „felvehető” P-tartalma és a szerves kötésben levő P-tartalom között pozitív kapcsolatot eddig még nem sikerült kimutatni, s egy adott talaj szerves P-tartalma megközelítően állandó szinten marad, ha a talajban egy bizonyos egyensúly már beállt. A szerves anyag hatása mégsem zárható ki teljesen, mert a szerves anionok a foszfát-ionokkal kölcsönhatásba léphetnek és ezáltal csökken a foszfát-adszorpció az Al- és Fe-oxidok, valamint az agyagásványok felületén. Továbbá a szerves anyagok mikrobiális lebontásakor — ez főleg a rhizoszférára érvényes — olyan szerves savak szabadulnak fel, melyek Al-mal, Fe-sal és Ca-mal vízdoldható komplexeket képeznek és a nehezen oldódó foszfátok oldhatóságát ily módon fokozzák. Mindkét utóbbi folyamat hozzájárulhat a „felvehető” P mennyiségének növekedéséhez [1, 35].

Az általam vizsgált talajoknál csak a 2,3–3,0%-os humusztartalom (H%) növelte meg a NEUB-P–AL-P közötti összefüggés korrelációs koefficiensének értékét, a másik három csoportban vagy azonos szorosságú, vagy gyengébb összefüggést kaptam, mint az összes talaj esetében (5. táblázat felső része). Az egyes csoportokhoz tartozó egyenesek lefutásában nem lehetett olyan szabályszerűséget találni, mint a mészállapot, a pH, vagy az 55%-nál több leiszapolható rész esetében.

Az összefüggés vizsgálat következő lépéseként az a kérdés merült fel, hogy két talajtulajdonság egyidejű figyelembevételével csoportosított NEUB-P és AL-P adatok között nem lesz-e szorosabb a kapcsolat, mint az előbb ismertetett, egy talajtulajdonság szerint csoportosított adatok között. Az elvégzett számítások nagyobb felében (az esetek 63%-ában) ilyen csoportosításban valamivel nagyobb lett a korrelációs koefficiens értéke, de az r-érték növekedése az esetek nagy részében nem volt jelentős.

Tehát a NEUB-P és az AL-P közti összefüggés esetében a vizsgált négy talajtulajdonság tekintetbe vétele mind az egy, mind a két talajtulajdonság szerint képzett csoportokban jelentősen megemelte a korrelációs koefficiensnek számított értékét a talajtulajdonságok figyelembevétele nélkül számított r-értékekhez képest, vagyis a fenti összefüggést a négy vizsgált talajtulajdonság kisebb vagy nagyobb mértékben befolyásolja. Legjelentősebb a talaj mészállapotának ill. kémhatásának, majd a nagyobb mennyiségű leiszapolható rész tartalmának, végül leggyengébb a talaj humusztartalmának a befolyása a fenti összefüggésre.

Többváltozós regressziószámítás

Az előbbi kétváltozós lineáris regressziós egyenletekből és a hozzájuk tartozó korrelációs koefficienssekből azt a következtetést lehetett levonni, hogy az egyes talajtulajdonságok fontos szerepet játszanak az AL-módszer adatainak alakulásában. Hatásukat azonban ezzel a tulajdonságok szerint elvégzett csoportosítással csak becsülni lehet. Ahhoz, hogy ne csak egyes — sokszor teljesen meghatározott — határértékek közé szorítva lehessen az egyes talajtulajdonságok befolyását megközelíteni, hanem folyamatos változásukat mate-

matikailag is figyelembe lehessen venni, egy másik statisztikai matematikai eljárásához — a többváltozós regressziószámításhoz — kellett folyamodni. (A többváltozós regressziószámítások az MTA SzTAKI elektronikus számítógépen FISCHER JÁNOS és KISS GYÖRGYNÉ irányításával készültek).

Ha az összetartozó NEUB-P—AL-P adatokat az AL-P alakulása szempontjából elsőrendű szerepet játszó mészállapot szerint csoportosítjuk és az egyes adatsortokhoz tartozó regressziós egyeneseket ábrázoljuk, akkor egy legyezőszerűen szétnyíló görbesereget nyerünk (1. ábra). Az ilyen görbesereg leírására a talajtulajdonságokat szorzat alakjában tartalmazó függvény látszott a legmegfelelőbbnek:

$$\text{NEUB-P} = a \cdot (\text{AL-P})^{b_1} \cdot (\text{CaCO}_3\%)^{b_2} \cdot (\text{L}\%)^{b_3} \cdot (\text{H}\%)^{b_4} \cdot (\text{pH})^{b_5},$$

illetve, hogy a számításnál a többváltozós lineáris regressziószámítás programjával lehessen dolgozni, a fenti egyenlet logaritmikus alakja:

$$\lg \text{NEUB-P} = \lg a + b_1 \cdot \lg(\text{AL-P}) + b_2 \cdot \lg(\text{CaCO}_3\%) + b_3 \cdot \lg(\text{L}\%) + b_4 \cdot \lg(\text{H}\%) + b_5 \cdot \lg(\text{pH}).$$

Számítástechnikai szempontból a meszet tartalmazó és nem tartalmazó talajokat el kellett különíteni egymástól, s így a mért adatok logaritmusaiával végzett többváltozós lineáris regressziószámítás eredményeként meszes talajokra

$$\text{NEUB-P} = 1,2529 \cdot X_1^{0,0956} \cdot X_4^{-0,0261} \cdot X_5^{0,0624} \cdot X_7^{-0,0247} \cdot X_6^{0,1112} R_m = 0,76^{***}$$

és a nem meszes talajokra

$$\text{NEUB-P} = 1,3508 \cdot X_1^{0,0993} \cdot X_6^{0,0390} \cdot X_4^{0,1134} \cdot X_7^{-0,0146} \cdot X_5^{-0,0042} R_s = 0,74^{***}$$

alakú függvényt kaptunk.

(Ahol $X_4 = \text{CaCO}_3\%$, ill. y_1 ; $X_5 = \text{L}\%$; $X_6 = \text{pH}(\text{KCl})$; $X_7 = \text{H}\%$).

A fenti R -értékek igen közel esnek a $\lg \text{NEUB-P}$ és $\lg \text{OLS-P}$ közti összefüggésre — a talajtulajdonságok figyelembevétele nélkül — nyert R -értékekhez. Tehát a négy talajtulajdonság egyidejű figyelembevételével az AL-P értékek kb. azonos információt adnak a talaj felvehető P-tartalmáról, mint az OLS-P értékek.

A 6. táblázatból ugyanakkor látható, hogy az összefüggés szorosságára az egyes talajtulajdonságok különböző mértékben hatnak, így pl. a meszes talajoknál az AL-P-n kívül a talaj CaCO_3 - és $\text{L}\%$ -tartalma fejtett ki jelentős hatást, míg a pH és a $\text{H}\%$ már jóval kisebb mértékben változtatott a R -értéken.

Az AL-P értékek korrekciója

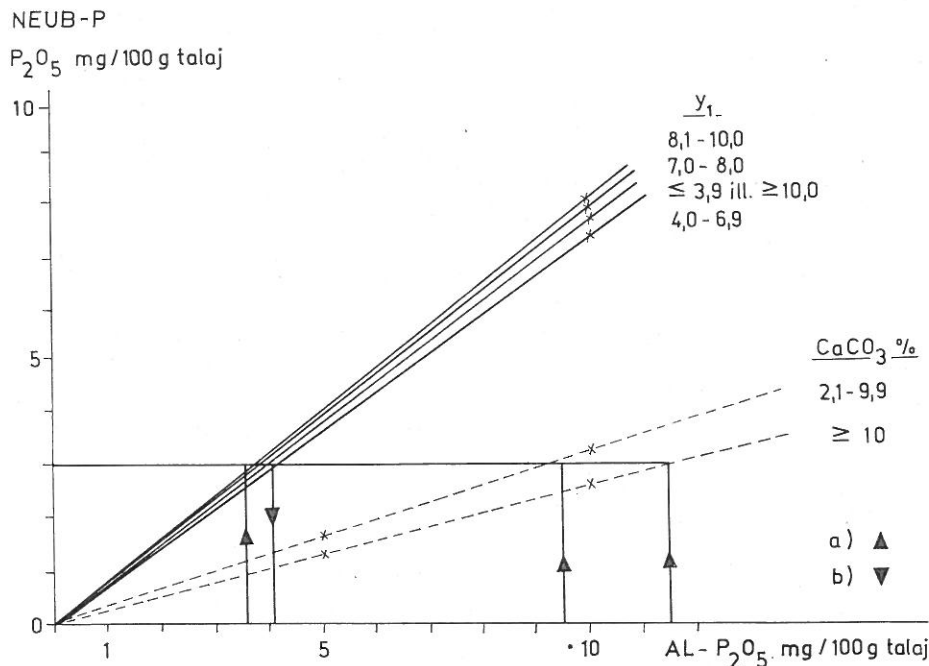
Az előző eredmények alapján megállapítható, hogy a kémiai módszerekkel kivonható P mennyisége a talajban levő felvehető P-készleten kívül az egyes talajtulajdonságoktól is függ. A vizsgált módszerek közül az OLS-módszert csak kis mértékben, míg az AL-módszert (és a CAL-módszert is) jelentősen befolyásolják az egyes talajtulajdonságok.

Mivel nem tartom feltétlenül célszerűnek egy országosan használt, s a szakemberek által már ismert módszerről egy, a gyakorlatban még nem ismert, s hazai talajok esetében még nem kalibrált módszerre áttérni, ezért a szakta-

nácsadási munka pontosítása érdekében egy új módszer bevezetése helyett inkább a mért AL-P értékek korrigálását kellene a talajtulajdonságok figyelembevételével elvégezni.

Az alább vázolt korrigálás alapja az a feltételezés, hogy azonos nedveség-, hő- és fényviszonyok között a tesztnövények által felvett P jól, vagy legalábbis jobban tükrözi a talaj felvehető P-tartalmát, mint az AL-P. Ha elfogadjuk, hogy az azonos P-szolgáltatóképességű, de különböző tulajdonságú és ezért eltérő AL-P-értékű talajokon a tesztnövények (jelen esetben a rozscsíránövények) azonos mennyiségű P-t vesznek fel, úgy az előbbi egyenletek alapján kiszámíthatjuk, hogy pl. egy meghatározott pH-jú, CaCO_3 -tartalmú, stb., talajon mért AL-P-érték egy „standard” tulajdonságú (pl. 7,0 pH-jú, stb.) talajon mekkora AL-P értéknek felel meg.

A korrekció lehetőségét először a kovariancia analízisnél nyert regressziós egyeneseknél vizsgáltam meg. Mivel a NEUB-P és az AL-P közötti összefüggést elsősorban a mészállapotot leíró talajjellemzők (CaCO_3 és y_1 , ill. pH) befolyásolják, ezért a korrekció lehetőségét a CaCO_3 ill. az y_1 -értékek szerint csoportosított adatokhoz tartozó ábrán mutatom be (1. ábra). Az ábra minden



1. ábra

Az AL-P-értékek korrigálásának vázolata a kovariancia analízis során kapott regressziós egyenletek segítségével. y_1 = hidrolitos aciditás. a) mért; b) korrigált érték.

egyes egyenesére felírható egy $\text{NEUB-P} = a + b(\text{AL-P})$ alakú egyenlet, mely meszes talajokra $\text{NEUB-P} = a_m + b_m(\text{AL-P})_m$, a savanyú kémhatásúakra $\text{NEUB-P} = a_s + b_s(\text{AL-P})_s$ és a semlegesekre (mivel erre az egyenesre korrigálunk) $\text{NEUB-P} = a_{\text{kor}} + b_{\text{kor}}(\text{AL-P})_{\text{kor}}$ alakot vesz fel. Mivel az AL-P korrigálásának feltétele az, hogy a különböző mészállapotú, de azonos P-szol-

Logaritmikus adatokkal végzett többváltozós lineáris regressziószámítás

(1) Sorszám és talajtípus	a	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄
A) Meszes talajok esetében					
		(AL-P)	(CaCO ₃ %)	(L%)	(H%)
1.	1,45	0,076			
2.	1,45	0,082	—0,020		
3.	1,38	0,087	—0,020	0,040	
4.	1,35	0,094	—0,022	0,059	—0,022
5.	1,25	0,096	—0,026	0,062	—0,025
B) Savanyú talajok esetében					
		(AL-P)	(y ₁)	(pH)	(H%)
1.	1,46	0,098			
2.	1,44	0,098	0,018		
3.	1,39	0,098	0,027	0,054	
4.	1,34	0,099	0,039	0,112	—0,018
5.	1,35	0,099	0,039	0,113	—0,015

*** 0,1%-os; ** 1%-os szinten szignifikáns.

gáztatású talajokon a növények által felvett P mennyisége azonos, ezért azonos NEUB-P-értékek esetén az előbbi egyenletek jobb oldalainak is meg kell egyeznie egymással:

$$a_m + b_m(\text{AL-P})_m = a_s + b_s(\text{AL-P})_s = a_{\text{kor}} + b_{\text{kor}}(\text{AL-P})_{\text{kor}}$$

Ha pl. a meszes talajban mért adatokat a semleges talajokra jellemző értékekre kívánjuk átszámítani, akkor a következő egyenlet érvényes:

$$(\text{AL-P})_{\text{kor}} = \frac{a_m - a_{\text{kor}} + b_m(\text{AL-P})_m}{b_{\text{kor}}}, \text{ illetve}$$

miután az 1. ábrán látható egyeneseket $a = 0$ alakra hoztuk:

$$(\text{AL-P})_{\text{kor}} = \frac{b_m}{b_{\text{kor}}} \cdot (\text{AL-P})$$

Az ily módon kiszámított $(\text{AL-P})_{\text{kor}}$ -érték (korrigált AL-P) meszes talajok esetében kisebb, savanyú talajok esetében nagyobb lesz, mint a mért AL-P-érték.

Ez a korrigálási eljárás igen egyszerű, hiszen egy adott talajcsoport esetében egyetlen szorzószám megadásával elvégezhető. Hibája azonban, hogy az egyes talajtulajdonságokat csak külön-külön, s csak bizonyos adott határok között lehet így figyelembe venni, nem pedig folyamatos változásukban.

A többváltozós regressziós egyenletekből is — az egyes talajtulajdonságok számszerű változását is figyelembe véve — elvégezhető az AL-P-értékek korrekciója. A korrigálás alapelve ebben az esetben is ugyanaz, mint a kova-

táblázat

együtthatói a Neubauer- és az AL-módszer közötti összefüggésre

b_s	R	R^2	ΔR^2	s	F
(pH)	0,609	0,371	0,371	0,027	80,91***
	0,704	0,495	0,124	0,024	33,32***
	0,749	0,561	0,066	0,023	20,38***
	0,753	0,566	0,005	0,023	1,59
	0,756	0,571	0,005	0,023	1,46
0,11					
(H%)	0,718	0,516	0,516	0,023	215,59***
	0,734	0,539	0,023	0,022	9,84**
	0,738	0,545	0,006	0,022	2,55
	0,741	0,549	0,004	0,022	1,84
	0,741	0,549	0,000	0,022	0,022
-0,004					

riancia analízis egyenleteinél volt, vagyis a NEUB-P-t valamennyi azonos P-szolgáltatóképességű talajnál a talajtulajdonságoktól függetlenül azonos mennyiségnek tekintjük. Ekkor a fenti logaritmikus függvényre is felírhatjuk:

$$\lg \text{NEUB-P} = \lg a + b_1 \cdot \lg(\text{AL-P})_t + b_2 \cdot \lg(\text{CaCO}_3\%)_t + b_3 \cdot \lg(\text{L}\%)_t + \\ + b_4 \cdot \lg(\text{pH})_t + b_5 \cdot \lg(\text{H}\%)_t = \lg a + b_1 \cdot \lg(\text{AL-P})_{st} + b_2 \cdot \lg(\text{CaCO}_3\%)_{st} + \\ + b_3 \cdot \lg(\text{L}\%)_{st} + b_4 \cdot \lg(\text{pH})_{st} + b_5 \cdot \lg(\text{H}\%)_{st},$$

ahol a = a regressziós függvény állandója,

$b_1 - b_5$ = az egyes független változók együtthatói,

t = a talajok tényleges, mért adatai

st = az ún. „standard” talaj adatai, amelyre az átszámítást végeztem, s melynek tulajdonságait a következőképpen határoztam meg: $\text{CaCO}_3 = 1\%$, ill. $y_1 = 1,0$; $\text{pH}(\text{KCl}) = 7,0$; $\text{H} = 2,5\%$; $\text{L} = 50\%$.

Ebből az egyenletből az $(\text{AL-P})_{st}$ - vagy korrigált AL-P-értékeket kifejezve a következő kifejezést kapjuk meszes talajok esetében:

$$\lg(\text{AL-P})_{st} = \lg(\text{AL-P})_t - \frac{0,0261}{0,0956} (\lg \text{CaCO}_3\%_t - \lg 1,0) + \\ + \frac{0,0624}{0,0956} (\lg \text{L}\%_t - \lg 50) - \frac{0,0247}{0,0956} (\lg \text{H}\%_t - \lg 2,5) + \\ + \frac{0,1112}{0,0956} (\lg \text{pH}_t - \lg 7,0);$$

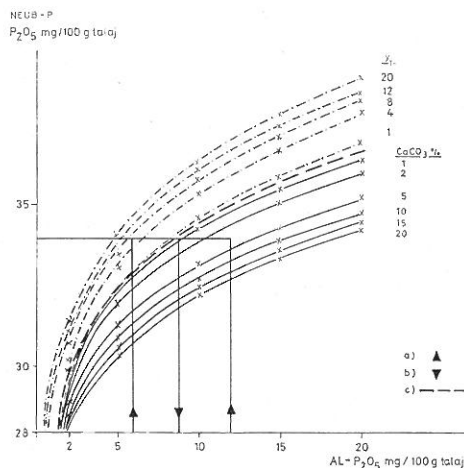
illetve savanyú talajokra:

$$\begin{aligned} \lg(\text{AL-P})_{st} = & \lg(\text{AL-P})_t + \frac{0,0390}{0,0993} (\lg y_{1(t)} - \lg 1,0) + \\ & + \frac{0,1134}{0,0993} (\lg \text{pH}_t - \lg 7,0) - \frac{0,0146}{0,0993} (\lg \text{H}\%_t - \lg 2,5) - \\ & - \frac{0,0042}{0,0993} (\lg \text{L}\%_t - \lg 50). \end{aligned}$$

A korrigálás menetének elvi vázlatát a 2. ábra szemlélteti, ahol a logaritmus adatokból nyert többváltozós regressziós függvényekből egy adott talajtulajdonság változtatásával — a többiek állandóan tartása mellett — számított görbeseroget ábrázoltam (az ábrán a változtatott tulajdonság a talaj mészállapota).

A korrekció mértékének megítélésére az AL-P-értékeket szignifikánsan befolyásoló talajtulajdonságok figyelembevételével a képletekből kiszámítottam a korrigált értékeknek a mért értékektől való százalékos eltérését. 1—25% CaCO_3 -tartalommal, ill. 1—25-ös y_1 -értékkel és 10—60% leiszapolható rész mennyiséggel számolva az eltérés $\pm 80\%$ is lehet, tehát pl. a 10 mg-os mért AL-P-érték korrigálás után a talajtulajdonságoktól függően 2 és 18 mg között változhat.

A fenti korrekciós egyenletek segítségével a módszerösszehasonlító vizsgálatban felhasznált talajok AL-P-értékeinek korrigálását elvégeztem, s a korrigált AL-P-értékeket a mért NEUB-P-értékekkel hasonlítottam össze (3. ábra: a jobb áttekinthetőség kedvéért a lg AL-P 0,1-es egységein belül a lg NEUB-P adatokat átlagoltam. Az ábrán megadott regressziós egyenletek az

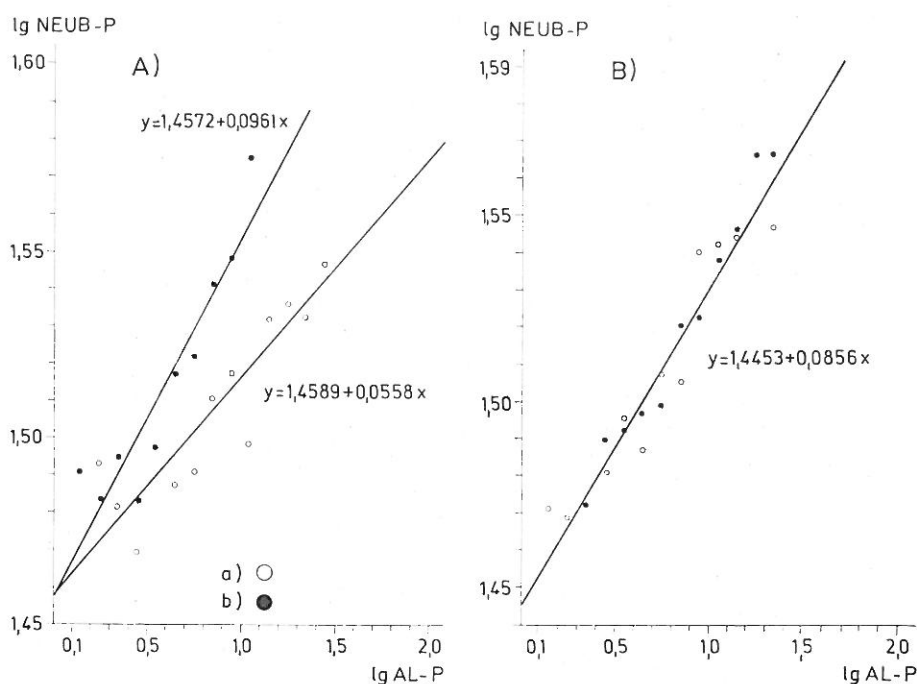


2. ábra

Az AL—P-értékek korrigálásának elvi vázlata a logaritmus adatokkal nyert többváltozós regressziós egyenletek segítségével a) mért; b) korrigált érték; c) korrigált AL—P-értékek.

átlagolt adatokra vonatkoznak.). Az új összefüggésre kapott korrelációs koeficiens $r = 0,766$ (nem átlagolt adatokkal számolva) gyakorlatilag azonos ugyanezen NEUB-P-értékek lg-a és a lg OLS-P közti összefüggésre kapott $r = 0,732$ -értékkel. A korrekció elvégzése után tehát a korrigált AL-P és a mért NEUB-P-értékek között ugyanolyan szoros összefüggést lehetett kimutatni, mint az OLS-P és a NEUB-P között.

A korrekciós egyenletek számítástechnikája első látásra bonyolultnak tűnik, de számítógép alkalmazásával az egyenletek megoldása nem igényel mást, csak a mért adatok betáplálását a megfelelő programmal rendelkező számítógépbe. A korrekciós számítás elvégzésekor figyelembe kell azonban venni, hogy az itt ismertetett egyenletek együtthatói szigorúan véve csak a számításhoz felhasznált adatok közti összefüggésre érvényesek. Amennyiben tehát egy más jellegű (pl. tenyészedény vagy szabadföldi) kísérlet adatainak értékelésénél használnánk fel ezeket, nem várható olyan szoros korreláció, mint a számítás alapjául szolgáló Neubauer-kísérlet esetében. A számítási eljárás alapelvét tekintve azonban pl. szabadföldi kísérletek eredményeinek feldolgozására is alkalmas, s ily módon a gyakorlat számára érvényes paraméterek nyerhetők segítségével.



3. ábra

Összefüggés a \lg NEUB-P és \lg AL-P értékek között meszes és savanyú talajok esetében az AL-P értékek korrigálása előtt (A) és után (B). A) mért adatok; B) korrigált adatok; a) meszes talajok; b) savanyú talajok.

Összefoglalás

Három, a trágyázási szaktanácsadásban több országban széles körben használt talajvizsgálati módszert (AL-, CAL- és OLS-módszer) hasonlítottam össze egy Neubauer-típusú kísérlet során a rozscsíránövények által felvett foszfor mennyiségével.

A kérdés vizsgálatához az ország különböző területeiről származó 115 talajmintát használtam.

A NEUB-P és a kémiai módszerekkel kivonható P-tartalmak közötti összefüggéseket kétváltozós lineáris regresszióval, kovariancia analízissel és többváltozós regresszió számítással vizsgáltam meg. A számítások eredményeiből kitűnt, hogy a NEUB-P és az OLS-P között sokkal szorosabb az összefüggés, mint a NEUB-P és az AL-P, ill. a CAL-P között. Ha viszont a talajok egyes, könnyen meghatározható tulajdonságait ($\text{CaCO}_3\%$, y_1 , $\text{pH}(\text{KCl})$, leiszapolható rész mennyisége, humusztartalom) is figyelembe vesszük, akkor a NEUB-P–AL-P közötti összefüggés ugyanolyan szorossá tehető, mint a NEUB-P–OLS-P közötti kapcsolat.

Mivel a trágyázási szaktanácsadásban hazánkban az AL-módszert használják kötelező érvénnyel, célszerűnek látszik a mért AL-P-értékeknek a talajtulajdonságok figyelembevételével történő korrigálása. A korrigálásnak az a feltételezés az alapja, hogy azonos nedvesség-, hő- és fényviszonyok között a tesztnövények az azonos P-szolgáltatóképességű, de különböző tulajdonságú – s ezért eltérő AL-P-tartalmú – talajokból azonos mennyiségű foszfort vesznek fel.

A többváltozós lineáris regressziós egyenletekből ezen az alapon a $\lg \text{AL-P}_{st}$ (korrigált AL-P) értékeket a következő egyenletek segítségével kaphatjuk meg meszes talajoknál:

$$\lg(\text{AL-P})_{st} = \lg(\text{AL-P})_t - 0,273 (\lg \text{CaCO}_3\%_t - \lg 1,0) + 0,653 (\lg \text{L}\%_t - \lg 50) - 0,258 (\lg \text{H}\%_t - \lg 2,5) + 1,163 (\lg \text{pH}_t - \lg 7,0),$$

illetve savanyú kémhatású talajoknál:

$$\lg(\text{AL-P})_{st} = \lg(\text{AL-P})_t + 0,393 (\lg y_{1(t)} - \lg 1,0) + 1,142 (\lg \text{pH}_t - \lg 7,0) - 0,147 (\lg \text{H}\%_t - \lg 2,5) - 0,0423 (\lg \text{L}\%_t - \lg 50).$$

(A „t”-index a mért értékeket jelzi.)

A korrekciós egyenletek segítségével olyan korrigált AL-P-értékek nyerhetők, melyek szorosabb összefüggésben állnak a növények által felvett P mennyiségével, mint a mért AL-P értékek. Az egyenletek számítógép alkalmazásával könnyen megoldhatók.

Irodalom

- [1] AGBOOLA, A. A. & COREY, R. B.: The relationship between soil pH, organic matter, available phosphorus, exchangeable potassium, calcium, magnesium, and nine elements in the maize tissue. *Soil Sci.* **115**. 367–375. 1973.
- [2] AMBERGER, A. & GUTSER, R.: Aussagekraft von Bodenuntersuchungsmethoden in langjährigen Feldversuchen mit verschiedenen P-Formen. *Landw. Forsch. Sonderheft 33/I*. 18–38. 1977.
- [3] AMBERGER, A., SOMMER, G. & GUTSER, R.: Zur P-Dynamik weicherdiger Rohphosphate. *Landw. Forsch.* **24**. 260–271. 1971.

- [4] BLANCHAR, R. W. & CALDWELL, A. C.: Phosphorus uptake by plants and readily extractable phosphorus in soils. *Agron. J.* **56**. 218–220. 1964.
- [5] BUCHER, R.: Der Einfluss verschiedener Düngerphosphate und des Bodenkarbonatgehaltes auf die Ergebnisse verschiedener Extraktionsverfahren zur Ermittlung der wirksamen P-Vorräte im Boden. *Landw. Forsch. Sonderheft 25/I*. 113–127. 1970.
- [6] DIEST, VAN, A.: Soil test correlation studies on New Jersey soils: I. Comparison of seven methods for measuring labile inorganic soil phosphorus. *Soil Sci.* **96**. 261–266. 1963.
- [7] EGNÉR, H., RIEHM, H. & DOMINGO, W.: Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor und Kaliumbestimmung. *Kungl. Lantbrukshögsk. Ann.* **26**. 199–215. 1960.
- [8] FÁBRY, Gy.-né: Összehasonlító vizsgálatok DL és AL-módszerrel. *Agrokémia és Talajtan.* **16**. 441–447. 1967.
- [9] FRANKLIN, W. T. & REISENAUER, H. M.: Chemical characteristics of soils related to phosphorus fixation and availability. *Soil Sci.* **90**. 192–200. 1960.
- [10] FÜLEKY, Gy.: A dead-stop végpontjelzéses nátriumhipobromitos titrálás alkalmazása növényi anyagok és műtrágyák nitrogéntartalmának meghatározására. *Agrokémia és Talajtan.* **19**. 339–346. 1970.
- [11] GOSWAMI, N. N., BAPAT, S. R. & PATHAK, V. N.: Studies on the relationship between soil tests and crop responses to phosphorus under field conditions. *Proc. Int. Symp. Soil Fert. Eval.*, Vol. I., 351–359. New Delhi (India). 1971.
- [12] HALSTEAD, R. L.: Chemical availability of native and applied phosphorus in soils and their textural fractions. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **31**. 414–419. 1967.
- [13] HANWAY, J. J.: Relating laboratory test results and field crop response: principles and practices. *Proc. Int. Symp. Soil Fert. Eval.* Vol. I., 337–343, New Delhi (India). 1971.
- [14] HAUSER, G. F.: The calibration of soil tests for fertilizer recommendations. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome. 1973.
- [15] JANIK, V. & GUSENLEITNER, J.: Die Pflanzenaufnehmbarkeit von Phosphaten aus Böden von unterschiedlichem Ausgangsgestein. *Bodenkultur.* **24**. 120–127. 1973.
- [16] JANIK, V. & GUSENLEITNER, J.: Die Pflanzenaufnehmbarkeit von Phosphaten Vergleich zu P-Extrakten aus Böden des Oberösterreichischen Schliergebietes. *Bodenkultur.* **25**. 10–20. 1974.
- [17] KARLSSON, N.: Schwierigkeiten und Möglichkeiten mit Hilfe der Bodenanalyse den für die Pflanze verwertbaren Nährstoffanteil im Boden anzugeben. *Landw. Forsch. Sonderheft 27/II*. 130–137. 1972.
- [18] KÖSTER, W.: Beziehung zwischen dem Phosphorgehalt von Kartoffelkraut und Böden. *Z. Pfl. Ernähr. Bodenk.* **137**. 19–31. 1974.
- [19] MATAR, A. E. & SAMMAN, M.: Correlation between NaHCO_3 -extractable P and response to P fertilization in pot tests. *Agron. J.* **67**. 616–618. 1975.
- [20] METWALLY, A. I., HAMDY, H. & EL-BAZ, S.: Evaluation of various parameters for available phosphorus in alluvial and calcareous soils of Egypt. *Z. Pfl. Ernähr. Bodenk.* (6) 595–604. 1975.
- [21] MUNK, H.: Zur Grenzwertfeststellung bei der Bodenuntersuchung im DL-, CAL- und H_2O -Auszug. *Landw. Forsch. Sonderheft 32/I*. 158–176. 1976.
- [22] MUNK, H. & BÄRMANN, C.: Zur Kennzeichnung des pflanzenverfügbaren Phosphats in lehmigen Böden durch verschiedene Bodenuntersuchungsmethoden. *Landw. Forsch.* **24**. 272–284. 1971.
- [23] MUNK, H. & BÄRMANN, C.: Zur Auswertung von Feldversuchen und Bodenuntersuchungsergebnissen auf Phosphat. *Landw. Forsch. Sonderheft 33/I*. 114–133, 1977.
- [24] NEUBAUER, H. & SCHNEIDER, W.: Die Nährstoffaufnahme der Keimpflanzen und ihre Anwendung auf die Bestimmung des Nährstoffgehaltes der Böden. *Z. Pfl. Ernähr. Dg. Bodenk. A* **2**. 329–362. 1923.
- [25] OLSEN, S. R., COLE, S. V., WATANABE, F. S. & DEAN, L. A.: Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *U. S. Dep. Agric. Circ.* **939**. 19 pp. 1954.
- [26] PAAUW, VAN DER, F.: Adjusting fertilizer rates to soil fertility level on the basis of soil testing. *Pontificiae Academiae Scientiarum Scripta Varia* No. 38. 427–466. 1973.
- [27] PFULB, K. & WIECHENS, E.: Ertragsleistung von Phosphatsteigerungs- und Nachwirkungsversuchen auf Böden mit hohen und solchen mit niedrigen Phosphatge-

- halten und deren Beziehung zu den Ergebnissen verschiedener Bodenuntersuchungsmethoden. Landw. Forsch. Sonderheft 26/I. 138—145. 1971.
- [28] PRATT, P. F. & GARBER, M. J.: Correlations of phosphorus availability by chemical tests with inorganic phosphorus fractions. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. **28**. 23—27. 1964.
- [29] RICHTER, D. & KERSCHBERGER, M.: Auswertung langjähriger P-Steigerungsversuche zur Ermittlung des für hohe Pflanzenenerträge erforderlichen P-Gehalts im Boden. Arch. Acker u. PflBau u. Bodenk. **16**. 903—914. 1972.
- [30] RIEHM, H.: Die Ammoniumlaktatessigsäure Methode zur Bestimmung der leichtlöslichen Phosphorsäure in karbonathaltigen Böden. Agrochimica. **3**. 49—65. 1958.
- [31] SARKADI, J.: A műtrágyaigény becslésének módszerei. Mezőgazd. Kiadó. Budapest. 1975.
- [32] SARKADI, J., KRÁMER, M. & THAMM, F.-né: Kalcium- és ammóniumlaktátos talajkivonatok P-tartalmának meghatározása aszkorbinsav-önkloridos módszerrel melegítés nélkül. Agrokémia és Talajtan. **14**. 75—86. 1965.
- [33] SCHACHTSCHABEL, P.: Beziehungen zwischen dem Phosphorgehalt in Böden und jungen Haferpflanzen. Z. Pflernähr. Bodenk. **135**. 31—43. 1973.
- [34] SCHECHTNER, G.: Beziehungen zwischen Bodenuntersuchungsergebnissen und Düngungserfolg in Gumpensteiner Grünlandversuchen. Landw. Forsch. Sonderheft 31/I. 171—196. 1975.
- [35] SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P.: Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verl. Stuttgart. 1970.
- [36] SCHÜLLER, H.: Die CAL-Methode, eine neue Methode zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphates in Böden. Z. Pflernähr. Bodenk. **123**. 48—63. 1969.
- [37] SCHÜLLER, H.: Über die Untersuchungen von Böden mit hohen Carbonatgehalten. Landw. Forsch. Sonderheft 28/I. 130—155. 1973.
- [38] Talaj- és trágyavizsgáló módszerek. (Eds.: BALLENEGGER, R. & DI GLÉRIA, J.) Mezőgazd. Kiadó. Budapest. 1962.
- [39] THAMM, F.-né: Néhány módosítás a növényi anyagok nedves roncsolásában. Agrokémia és Talajtan. **22**. 345—350. 1973.
- [40] THAMM, F.-né, KRÁMER, M. & SARKADI, J.: Növények és trágyaanyagok foszfortartalmának meghatározása ammónium-molibdovanadátos módszerrel. Agrokémia és Talajtan. **17**. 145—156. 1968.
- [41] VETTER, H. & FRÜCHTENICHT, K.: Wege zur Ermittlung des Düngerbedarfs mit größerer Treffsicherheit. Landw. Forsch. Sonderheft 31/I., 290—320. 1975.
- [42] WAGNER, E.: Die Beeinflussung der P_2O_5 -Bodenuntersuchungswerte durch einzelne Düngemitteltypen. Landw. Forsch. Sonderheft 25/I., 104—112. 1970.
- [43] WATANABE, F. S. & OLSEN, S. R.: Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and $NaHCO_3$ extracts from soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. **29**. 677—678. 1965.
- [44] WERNER, W.: Kennzeichnung des pflanzenverfügbaren Phosphats nach mehrjähriger Düngung mit verschiedenen Phosphaten. Z. Pflernähr. Bodenk. **122**. 19—32. 1969.
- [45] WERNER, W.: Untersuchung zur Pflanzenverfügbarkeit des durch langjährige Phosphatdüngung angereicherten Bodenphosphats. Z. Pflernähr. Bodenk. **126**. 135—150. 1970.
- [46] WERNER, W.: Neue Gesichtspunkte bei der Beurteilung verschiedener Lactatmethoden zur Kennzeichnung der Phosphatversorgung des Bodens. Kali-Briefe. Jan. 1972.
- [47] WERNER, W. & WIECHMANN, H.: Vergleichende Untersuchungen zur Brauchbarkeit der CAL-Methode zur Kennzeichnung des pflanzenverfügbaren Bodenphosphats. Landw. Forsch. **24**. 285—293. 1971.
- [48] WERNER, W. & WIECHMANN, H.: Untersuchungen zur Pflanzenverfügbarkeit des durch langjährige Phosphatdüngung angereicherten Bodenphosphats. Z. Pflernähr. Bodenk. **133**. 4—17. 1972.
- [49] WESTIN, F. C. & BUNTLEY, G. J.: Soil phosphorus in South Dakota: II. Comparison of two availability tests with inorganic phosphorus fractions among soil series. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. **30**. 248—253. 1966.

Érkezett: 1980. szeptember 22.

Possibility of the Application of AL-P-values Corrected by Some Soil Characteristics for the Estimation of the Soil's P-supply

B. THAMM

Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest

Summary

A comparison was made between the available P-content of the soils determined by three chemical methods (AL-, CAL-, NaHCO_3 -method) used for fertilizer recommendations in many countries and the quantity of phosphorus taken up by the rye seedlings of a Neubauer-experiment.

In the experiment 115 soil samples were used. Some of them originated of the fertilizer experiments spread over the country, others of the field experiments of the Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry and a few ones of agricultural farms. According to our possibilities the samples represented the most important soil types of our country.

For the numerical examination of the connections between the NEUB-P and the P extracted by the chemical methods firstly linear regressions were calculated. The values of the correlation coefficients belonging to the functions show that there exists a closer linear connection between NEUB-P and OLS-P ($r = 0.72^{***}$), than between NEUB-P and AL-P ($r = 0.53^{***}$), and NEUB-P and CAL-P ($r = 0.54^{***}$) resp., although all the three r -values are significant at a level of 0.1% probability.

The differences existing between the P-supply levels of the soils of different types and different properties can be characterized better by the OLS-P-values than by the AL-P- and CAL-P-values. At the same time this calculations support the well-known fact that the P-quantities which can be determined by the AL-method used in the fertilizer recommendation service in Hungary nowadays, show a relative loose connection with the P taken up by the rye seedlings regarding all the soils examined.

However the introduction of a new method yet unknown to agricultural practice, is not advantageous by all means, for the P-values got by the new method can be used for fertilizer recommendation only after calibration. It seems to be therefore more practical to correct the results of the AL-method by taking some soil properties into account.

For this examination four soil properties (i.e. $\text{CaCO}_3\%$, and hydrolytic acidity (y_1) resp.; $\text{pH}(\text{KCl})$; the quantity of particles $< 0.02 \text{ mm}$ ($L\%$); humus-content ($H\%$) which can be easily determined in series in the agrochemical laboratories, were taken into consideration. The available P-values were divided into 5-7 groups according to the soil properties and the data were submitted to an analysis of covariance. By this procedure, however, the influence of each property could be estimated only within certain limit values.

Since the numerical effect of each soil property also should be examined, a multiple regression analysis was carried out. The smallest deviation was got when using the logarithms of the data.

According to the results of the analysis of covariance the CaCO_3 -content (and the y_1 -value, resp.) and the pH-value were the properties which influenced the connection of NEUB-P and AL-P most. The R -values of the multiple linear regression analyses increased significantly when taking into consideration the CaCO_3 -content (with calcareous soils) and the y_1 -value, resp. (with acid soils), and the $L\%$ -values. The effect of the humus content was with both calculations small.

When knowing the numerical effect of the soil properties, the measured AL-P-values (both of alkaline and of acid soils) can be converted into AL-P-values of a „standard” soil, the properties of which may be e.g. $\text{pH}(\text{KCl}) = 7.0$; $\text{CaCO}_3 = 1\%$ or $y_1 = 1.0$; $L = 50\%$; $H = 2.5\%$. Thus the corrected AL-P-values can be interpreted uniformly.

The principle of this conversion is the clause that from soils with the same P-supply, but of different soil properties and, therefore, of different AL-P-values the test plants take up the same quantity of P when the conditions of humidity, temperature and light are the same.

On this basis it is possible to calculate from the multiple linear regression equations the $\lg \text{AL-P}_{st}$ -values (= corrected AL-P values) for calcareous soils as follows:

$$\lg \text{AL-P}_{st} = \lg(\text{AL-P})_t - 0.273 (\lg \text{CaCO}_3\%_t - \lg 1.0) + 0.653 (\lg L\%_t - \lg 50) - 0.258 (\lg H\% - \lg 2.5) + 1.163 (\lg \text{pH}_t - \lg 7.0),$$

and for acid soils, resp.:

$$\lg(\text{AL-P})_{st} = \lg(\text{AL-P})_t + 0.393 (\lg y_{1(t)} - \lg 1.0) + 1.142 (\lg \text{pH}_t - \lg 7.0) - 0.147 (\lg \text{H}\%_t - \lg 2.5) - 0.0423 (\lg \text{L}\%_t - \lg 50).$$

(The index „t” means the measured values.)

By means of the correction equations AL-P-values can be got which are in closer connection with the P-quantity taken up by the plants, than the original, measured AL-P values were. The equations can be done easily by a computer.

Table 1. Origin of the applied soil samples. (1) Soil type: 1. Sandy skeletal soils; 2. Brown forest soils; 3. Chernozem soils; 4. Meadow soils; 5. Alkaline (Szik) soils; 6. Alluvial soils. (2) Region and place of origin. (3) Number of the samples, piece. Total number of the examined soils: 115.

Table 2. Main characteristics of the examined soils. (1) Hydrolytic acidity (y_1). (2) Quantity of particles < 0.02 mm, %. (3) Humus content, %. + = Average of the calcareous soils ($n = 60$); ++ = Average of the non-calcareous soils ($n = 67$). Note: The soils with a CaCO_3 -content lower than 2%, and with an y_1 -value lower than 4.0 were placed in both groups.

Table 3. Parameters of the regression equations of the connections between NEUB-P (Y) and AL-P (X_1), and NEUB-P (Y) and OLS-P (X_3), resp. after having the dates divided into groups according to the soil types. (1) Soil type: see Table 1. *** = significant at a level of 0.1%; ** = significant at a level of 1.0%; * = significant at a level of 5%; + = significant at a level of 10%.

Table 4. Parameters of the regression equations of the connections between NEUB-P (Y) and AL-P (X_1), and NEUB-P (Y) and OLS-P (X_3), resp., after having the dates divided into groups according to the CaCO_3 -content and the y_1 -values (A), and to the pH(KCl)-value (B). (1) Serial number: A) Parameters of the regression equations of the dates divided into groups according to the CaCO_3 -content and the y_1 -value; B) Parameters of the regression equations of the dates divided into groups according to the pH(KCl)-value. a) F-test concerning the „b”-values. + = $y_1 = 0.0 - 3.9$. Signs of the levels of significance: see: Table 3.

Table 5. Parameters of the regression equations of the connections between the NEUB-P (Y) and AL-P (X_1), and the NEUB-P (Y) and OLS-P (X_3), resp., after having the dates divided into groups according to the humus content of the soils (A), and to the quantity of the particles < 0.02 mm (B). (1) Serial number: A) Parameters of the regression equations of the dates divided into groups according to the humus content; B) Parameters of the regression equations of the dates divided into groups according to the quantity of the particles < 0.02 mm (L%). b) F-test concerning the „b”-values. Signs of the levels of significance: see Table 3.

Table 6. Parameters of the multiple regression equations calculated with logarithmical dates, of the connections between the NEUB-P and AL-P. (1) Serial number. A) Calcareous soils; B) Acid soils. L% = quantity of particles < 0.02 mm. H% = humus content. y_1 = hydrolytic acidity. Signs of the levels of significance: see Table 3.

Fig. 1. Sketch of the correction of the AL-P-values by means of the regression equations of the analysis of covariance. y_1 = Hydrolytic acidity. a) Measured, b) corrected values.

Fig. 2. Sketch of the correction of the AL-P-values by means of the multiple regression equations calculated by logarithmical dates. a) Measured, b) and c) corrected AL-P-values.

Fig. 3. Connection between the lg NEUB-P and the lg AL-P-values in case of calcareous and acid soils before (A) and after (B) the correction of the AL-P-values. A) Measured values; B) Corrected values; a) Calcareous soils; b) Acid soils.

Die Anwendungsmöglichkeit von mit Hilfe einiger Bodenkennwerte korrigierten AL-P-Werten zur Bestimmung des P-Versorgungsgrades der Böden

B. THAMM

Forschungsinstitut für Bodenkunde und Agrikulturchemie der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Budapest

Zusammenfassung

Es wurden drei, in der Düngungsberatung in mehreren Ländern weitverbreitet angewendete Bodenuntersuchungsmethoden (AL, CAL, NaHCO_3 (= OLS)) mit der P-Aufnahme von Roggenkeimpflanzen eines Neubauer-Versuches verglichen.

Zur Untersuchung wurden 115 Bodenproben einbezogen, die teils aus den über das ganze Land verteilten Landes-Düngungsversuchen, teils aus den Feldversuchen des Forschungsinstitutes für Bodenkunde und Agrikulturchemie der UAW, und einige wenige aus landwirtschaftlichen Betrieben stammten. Die Probenahmen umspannten unseren Möglichkeiten entsprechend ein möglichst grosses Gebiet des Landes, die Proben repräsentieren die wichtigsten Bodentypen.

Zwecks zahlenmässiger Untersuchung der Zusammenhänge zwischen der mittels NEUB-P und den chemischen Methoden extrahierbaren P-Mengen wurde zuerst eine lineare Regressionsberechnung vorgenommen. Aus den Werten der zu den erhaltenen Gleichungen gehörigen Korrelationskoeffizienten ergab sich, dass zwischen NEUB-P und OLS-P ein viel engerer linearer Zusammenhang ($r = 0,72^{***}$) als zwischen NEUB-P und AL-P ($r = 0,53^{***}$), bzw. NEUB-P und CAL-P ($r = 0,54^{***}$) besteht, obwohl alle drei r -Werte bei einer Signifikanzstufe von 0,1% gesichert sind.

Man kann deshalb die Unterschiede, die zwischen den P-Versorgungsgraden der Böden verschiedenen Typen und unterschiedlichen Eigenschaften bestehen mit dem OLS-P-Wert besser kennzeichnen, als mit den AL-P und CAL-P-Werten. Diese Berechnung unterstützt gleichzeitig jene bekannte Tatsache, dass die mit der gegenwärtig in Ungarn in der Düngungsberatung verwendeten AL-Methode bestimmten P-Mengen — die Gesamtheit der Böden in Betracht genommen — keinen genügend engen Zusammenhang mit dem durch die Pflanzen aufgenommenen P aufweist.

Trotzdem ist die Einführung einer neuen, in der Praxis noch unbekannten Bodenuntersuchungsmethode nicht unbedingt vorteilhaft, da auch die mit der neuen Methode erhaltenen P-Werte nur nach dem Kalibrieren für die Düngungsberatung verwendet werden können. Es scheint deshalb ein gangbarer Weg zu sein, die mit der üblichen AL-Methode erhaltenen Resultate unter Inbetrachtziehung einzelner Bodeneigenschaften zu korrigieren.

Zu dieser Untersuchung wurden vier, im agrochemischen Laboratorium auch in Serien leicht bestimmbare Bodeneigenschaften ($\text{CaCO}_3\%$ bzw. hydrolytische Azidität (y_1); $\text{pH}(\text{KCl})$; Menge der abschlembaren Teilchen ($L\%$); Humusgehalt ($H\%$)) in Betracht genommen. Je Eigenschaft wurden die leichtlöslichen P-Werte in 5–7 Gruppen geteilt und die Angaben einer Kovarianz-Analyse unterworfen. Auf diese Art konnte aber nur der Einfluss, den je eine Eigenschaft innerhalb gewisser Grenzwerte auf die leichtlöslichen P-Werte ausübt, abgeschätzt werden.

Da aber auch die zahlenmässig ausdrückbare Wirkung der einzelnen Bodeneigenschaften untersucht werden sollte, war es zweckmässig eine mehrfache Regressionsberechnung durchzuführen. Unter den verschiedenen Variationen dieser Berechnung konnte die den Zusammenhang beschreibende Gerade durch logarithmische Angaben am besten angenähert werden.

Den Resultaten der Kovarianzanalyse gemäss hat in erster Linie der Kalkzustand ($\text{CaCO}_3\%$ bzw. y_1) und der $\text{pH}(\text{KCl})$ -Wert den Zusammenhang zwischen NEUB-P und AL-P beeinflusst. Die R -Werte der mehrfachen linearen Regressionsberechnung stiegen bei Beachtung des CaCO_3 -Gehaltes bzw. des y_1 -Wertes und der $L\%$ -Werte signifikant an. Die Wirkung des $H\%$ -Wertes war bei beiden Berechnungen geringfügig.

In Kenntnis des Einflusses der Bodeneigenschaften können die gemessenen AL-P-Werte so korrigiert werden, dass sie sowohl im Falle von sauren, wie auch von karbonathaltigen Böden auf AL-P-Werte eines Bodens mit "standard" Eigenschaften (z.B. $\text{pH}(\text{KCl}) = 7,0$; $\text{CaCO}_3 = 1\%$ oder $y_1 = 1,0$; $L = 50\%$; $H = 2,5\%$) umgerechnet werden und die korrigierten AL-P-Werte einheitlich interpretiert werden können.

Grundlegend bei dieser Umrechnung ist die Annahme, dass die Testpflanzen bei gleichen Feuchtigkeits-, Wärme- und Lichtverhältnissen aus Böden von gleicher P-Nach-

lieferungskapazität, aber von verschiedenen Eigenschaften — daher mit abweichenden AL-P-Werten — gleiche P-Mengen aufnehmen.

Auf diese Weise erhält man aus den mehrfachen linearen Regressionsgleichungen für die lg AL-P-Werte (= korrigierte AL-P-Werte) die folgenden Gleichungen im Falle von Kalkböden:

$$\lg(\text{AL-P})_{st} = \lg(\text{AL-P})_t - 0,273 (\lg \text{CaCO}_3\%_t - \lg 1,0) + 0,653 (\lg \text{L}\%_t - \lg 50) - 0,258 (\lg \text{H}\% - \lg 2,5) + 1,163 (\lg \text{pH}_t - \lg 7,0)$$

bzw. im Falle von Böden mit saurer Reaktion:

$$\lg(\text{AL-P})_{st} = \lg(\text{AL-P})_t + 0,393 (\lg y_{1t} - \lg 1,0) + 1,142 \lg \text{pH}_t - \lg 7,0 - 0,147 (\lg \text{H}\%_t - \lg 2,5) - 0,0423 (\lg \text{L}\%_t - \lg 50).$$

(Index "t" bedeutet die gemessenen Werte.)

Mithilfe der Korrektionsgleichungen können solche korrigierte AL-P-Werte gewonnen werden, die in engerem Zusammenhang mit der durch die Pflanzen aufgenommenen P-Menge stehen als die gemessenen AL-P-Werte. Die Gleichungen können mithilfe eines Computers leicht gelöst werden.

Tab. 1. Herkunftsort der verwendeten Bodenproben. (1) Bodentyp: 1. Sandige Skelettböden; 2. Braune Waldböden; 3. Tschernoseme; 4. Wiesenböden; 5. "Szik"-Böden; 6. Alluvialböden. (2) Gegend und Ort der Herkunft. (3) Anzahl der Proben, Stück. Anzahl der untersuchten Böden insgesamt: 115.

Tab. 2. Wichtigere Kennwerte der untersuchten Böden. (1) Hydrolytische Azidität. (2) Abschlembare Teilchen, %. (Fraktion < 0,02 mm.) (3) Humusgehalt, %. + = Mittelwert der karbonathaltigen Böden (n = 60); ++ = Mittelwert der nicht karbonathaltigen Böden (n = 67). Bemerkung: Die Böden (n = 12), deren CaCO₃-Gehalt weniger als 2% und deren y₁-Wert weniger als 4,0 betrug, wurden in beide Gruppen eingereiht.

Tab. 3. Parameter der Regressionsgleichungen der zwischen NEUB-P (Y) und AL-P (X₁), bzw. NEUB-P (Y) und OLS-P (X₃) bestehenden Zusammenhänge nach einer Einteilung der Angaben der Bodentypen gemäss. (1) Bodentyp: s. Tab. 1. *** = signifikant bei P = 0,1%; ** = signifikant bei P = 1%; * = signifikant bei P = 5%; + = signifikant bei P = 10%.

Tab. 4. Parameter der Regressionsgleichungen der zwischen NEUB-P (Y) und AL-P (X₁), bzw. NEUB-P (Y) und OLS-P (X₃) bestehenden Zusammenhänge nach einer Einteilung der Angaben dem Kalkgehalt der Böden (A) und dem pH(KCl)-Wert der Böden (B) gemäss. (1) Laufende Nummer: A) Parameter der Regressionsgleichungen der nach dem Kalkzustand des Bodens eingeteilten Bodengruppen; B) Parameter der Regressionsgleichungen der nach dem pH(KCl) des Bodens eingeteilten Bodengruppen. a) F-Probe bezüglich der "b"-Werte. + = y₁ = 0,0–3,9. Zeichen der Signifikanzstufen: s. Tab. 3.

Tab. 5. Parameter der Regressionsgleichungen der zwischen NEUB-P (Y) und AL-P (X₁), bzw. NEUB-P (Y) und OLS-P (X₃) bestehenden Zusammenhänge nach einer Einteilung der Angaben dem Humusgehalt der Böden (A) und dem Gehalt der abschlembaren Teilchen (B) gemäss. (1) Laufende Nummer: A) nach einer Einteilung der Angaben dem Humusgehalt (H%) der Böden gemäss; B) nach einer Einteilung der Angaben dem Gehalt an abschlembaren Teilchen (L%) gemäss. b) F-Probe bezüglich der "b"-Werte. Zeichen der Signifikanzstufen: s. Tab. 3.

Tab. 6. Parameter der mit logarithmischen Daten berechneten mehrfachen Regressionsgleichungen der zwischen NEUB-P und AL-P bestehenden Zusammenhänge. (1) Laufende Nummer. A) Kalkhaltige Böden; B) Böden mit saurer Reaktion. L% = abschlembare Teilchen. H% = Humusgehalt. y₁ = Hydrolytische Azidität. Zeichen der Signifikanzstufen: s. Tab. 3.

Abb. 1. Skizze der Korrektion der AL-P-Werte mit Hilfe der Regressionsgleichungen der Kovarianzanalyse. y₁ = Hydrolytische Azidität. a) gemessene, b) korrigierte Werte.

Abb. 2. Skizze der Korrektion der AL-P-Werte mit Hilfe der durch logarithmische Daten gewonnenen mehrfachen Regressionsgleichungen. a) gemessene, b) korrigierte und c) korrigierte AL-P Werte.

Abb. 3. Zusammenhang zwischen den lg NEUB-P- und lg AL-P-Werten im Falle von kalkhaltigen, sowie sauren Böden vor (A) und nach (B) der Korrektion der AL-P-Werte. A) Gemessene Werte; B) korrigierte Werte; a) kalkhaltige Böden; b) saure Böden.

Возможности использования величин АЛ—Р, с поправкой на некоторые свойства почвы, для оценки обеспеченности почвы фосфором

Б. ТАММ

Научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии Венгерской Академии Наук, Будапешт

Резюме

Сравнили фосфор, полученный тремя методами анализа почвы (AL-, CAL — OLS), широко распространенными во многих странах в рекомендации по внесению удобрений, с количеством фосфора, усвоенным проростками ржи в опыте типа Нейбауэра.

Для исследования использовали 115 почвенных образцов, взятых из Государственных Опытов по внесению удобрений, из полевых опытов НИИ почвоведения и агрохимии и с производственных полей. Образцы брали так, чтобы они, по возможности, отражали свойства главнейших почвенных типов страны. Для анализа числовых зависимостей между фосфором по Нейбауэру и фосфору, определенному другими химическими методами, рассчитали линейную регрессию с двумя переменными. Коэффициенты корреляции, относящиеся к полученным уравнениям, показали, что хотя все три величины r достоверны на уровне 0,1%, более тесная связь наблюдается между фосфором по Нейбауэру и фосфором по Олсену ($r = 0,72^{**}$) по сравнению с фосфором по Нейбауэру и АЛ—Р ($r = 0,53^{***}$) (или САЛ—Р/ $r = 0,54^{***}$).

Таким образом, определяя фосфор по Олсену, можно лучше проследить обеспеченность фосфором различных типов почвы, чем другими лактатными методами. Одновременно проведенный расчет подтверждает тот общезвестный факт, что количество фосфора, определенного методом АЛ, широко распространенным в нашей стране в рекомендации по внесению удобрений, не показывает достаточно тесной связи с содержанием легко усвояемого фосфора.

Все это еще не означает преимущества введения нового метода почвенного анализа, поскольку величины «усвояемого» фосфора, полученные новым методом могут быть использованы только с некоторой калибровкой. Поэтому целесообразнее использовать величины АЛ—Р с поправкой на некоторые свойства почвы.

Провели ковариационный анализ с четырьмя свойствами почвы — $\text{CaCO}_3\%$ или y_1 , pH (KCL), содержание илстой фракции (L%), содержание гумуса (H%), которые легко определяются в лабораторных условиях. Для численного выражения влияния некоторых свойств почвы провели регрессионные расчеты с несколькими переменными.

Результаты ковариационного анализа показали, что связь между фосфором по Нейбауэру и АЛ—Р определяется, прежде всего, содержанием $\text{CaCO}_3\%$ или y_1 , pH (KCL). В линейных регрессионных расчетах величина R достоверно увеличивалась при учете содержания CaCO_3 или y_1 , а также содержания илстой фракции. Содержание гумуса в обоих случаях почти не сказалось на расчетах.

Зная почвы, корректировать величину АЛ—Р можно пересчитывая ее (при определении как в карбонатных, так и кислых почвах) на величину АЛ—Р, характерную для стандартных свойств почвы (например: pH (KCl) = 7,0; $\text{CaCO}_3 = 1\%$, или $y_1 = 1,0$, L = 50%, H = 2,5%).

При этом предполагается, что подопытные растения в тождественных условиях влажности, температуры и освещения усваивают одинаковое количество фосфора из почв в одинаковой мере обеспеченных фосфором, но различных по свойствам, а значит и по содержанию АЛ—Р.

На основе этого из регрессионных уравнений можно рассчитать величины $\lg \text{AL} - \text{P}_{st}$ (корр. АЛ—Р) для карбонатных почв:

$$\lg (\text{AL} - \text{P})_{st} = \lg (\text{AL} - \text{P})_t - 0,273 (\lg \text{CaCO}_3\%_t - \lg 1,0) + 0,653 (\lg L\%_t - \lg 50) - 0,258 (\lg H\%_t - \lg 2,5) + 1,163 (\lg \text{pH}_t - \lg 7,0),$$

для кислых почв:

$$\lg (\text{AL} - \text{P})_{st} = [\lg (\text{AL} - \text{P})_t + 0,393 (\lg y_{1(t)} - \lg 1,0) + 1,142 (\lg \text{pH}_{1(t)} - \lg 7,0) - 0,147 (\lg H\%_t - \lg 2,5) - 0,0423 (\lg L\%_t - \lg 50)].$$

Индекс „ t ” — измеренная величина.

Указанные уравнения дают возможность получить коррелированные величины АЛ—Р, которые находятся в более тесной связи с количеством фосфора легкоусвояемым растениями, чем АЛ—Р. Уравнения легко решаются на вычислительной машине.

Табл. 1. Место взятия почвенных образцов на исследование. (1) Тип почвы: Песчаные скелетные почвы. 2. Бурая лесная почва. 3. Черноземы. 4. Луговые почвы. 5. Засоленные почвы. 6. Аллювиальные почвы. (2) Район и место взятия образца. (3) Количество образцов, шт. Общее количество изученных почв: 115.

Табл. 2. Основные свойства изученных почв. (1) Гидролитическая кислотность. (2) Ил %. Фракция диаметром менее 0,02 мм. (3) Содержание гумуса %. + среднее по карбонатным образцам ($n = 60$); ++ среднее по не карбонатным образцам ($n = 67$). Примечание: почвы содержащие CaCO_3 менее 2% и Y_1 ниже 4,0 включались во все расчетные группы.

Табл. 3. Параметры регрессионных уравнений между фосфором по Нейбауэру (Y) и АЛ—Р (X_1) после разделения по основным типам почвы. (1) Типы почвы, см. таблицу 1. Достоверно на уровне *** 0,1%, ** 1,0%, * 5%, + 10%.

Табл. 4. Параметры регрессионных уравнений между фосфором по Нейбауэру (Y) и АЛ—Р (X_1) или Р—Олсен (X_2) после распределения на основании содержания CaCO_3 (А) и pH (В). (1) Номер по порядку и анализ: А) После распределения на основании содержания CaCO_3 . В) После распределения по pH. а) Проба F для величины «b». + = $Y_1 = 0,0 - 3,9$. Обозначение достоверности зависимостей смотри в таблице 3.

Табл. 5. Параметры регрессионных уравнений для фосфора по Нейбауэру (Y) и АЛ—Р (X) или Р—Олсен (X_2) после распределения на основании содержания гумуса (А) и ила (В). (1) Номер по порядку и анализ: А) После группирования почв по содержанию гумуса, Н%. В) После группирования почв по содержанию ила, %. б) Проба F для величины «b». Обозначения достоверности смотри в таблице 3.

Табл. 6. Коэффициенты для линейных регрессионных расчетов проведенных с логарифмическими данными для зависимостей между методами Нейбауэра и АЛ. (1) Номер и тип почвы: А) Для карбонатных почв. В) Для кислых почв. 1% = ил в %. Н% = гумус в %. Y_1 гидролитическая кислотность. Обозначение достоверности смотри в таблице 3.

Рис. 1. Схема коррекции величин АЛ—Р с помощью уравнений, полученных в ходе ковариационного анализа. Y_1 = гидролитическая кислотность. а) измеренная. б) после коррекции.

Рис. 2. Принцип коррекции величин АЛ—Р с помощью регрессионных уравнений с несколькими переменными, полученными с помощью логарифмических данных. а) измеренная. б) после коррекции. в) величины АЛ—Р после коррекции.

Рис. 3. Зависимость между $\lg \text{NEUB—P}$ и $\lg \text{АЛ—Р}$ на карбонатных и кислых почвах перед коррекцией АЛ—Р (А) и после ее коррекции (В). А) Измеренные. В) Корректированные данные, а) карбонатные почвы. б) кислые почвы.